

## Teoría de las comunicaciones

### Práctica 1: Transmisión de Información

#### Temas

Información, Fuentes de Información, Entropía, Velocidad de Transmisión, Latencia, Capacidad de Canal.

#### Definiciones

##### Información de un evento:

$I(s) = -\log(P(s))$  con  $P(s)$  la probabilidad del evento  $s$

##### Entropía de una fuente:

$$H(S) = \sum_{s \in S} P(s) I(s)$$

##### Largo promedio de un código:

$L(C) = \sum_{s \in S} P(s) l(C(s))$  con  $l(C(s))$  el largo de la codificación del símbolo  $s$

##### La codificación es sin pérdida de información si se cumple:

$$H(S) \leq L(C(S))$$

##### Capacidad de un canal (limitado en potencia, en ancho de banda y con ruido):

$C[\text{bps}] = B[\text{Hz}] * \log(1 + \text{SNR}[\text{veces}])$  con  $\text{SNR}[\text{veces}] = 10^{\text{SNR}[\text{dB}]/10}$  y  $B$  el ancho de banda disponible.

##### Velocidad de transmisión:

$$V_{tx}[\text{bps}]$$

##### Velocidad de transmisión sin pérdida de información:

$$V_{tx}[\text{bps}] \leq C[\text{bps}], \text{ con } V_{tx}^{max} = C$$

##### Tiempo de Transmisión de un bit:

$$T_{tx}[\text{seg}] = 1/V_{tx}$$

##### Tiempo de Propagación de un bit:

$T_{prop}[\text{seg}] = D/V$  con  $D$  la distancia del enlace y  $V$  la velocidad de propagación de la forma de onda en el medio físico.

##### Latencia o Delay:

$$\text{Delay}[\text{seg}] = T_{tx} + T_{prop}$$

##### Capacidad de Volumen de un canal (también "Producto Delay por Velocidad de Transmisión" o "Producto Delay por Ancho de Banda"):

$$C_{vol}[\text{bits}] = \text{Delay} * V_{tx}$$

---

#### Ejercicio 1

¿Qué cantidad de información se obtiene de la observación de los siguientes experimentos u objetos?

- la tirada de una moneda equilibrada
- la tirada de un dado equilibrado
- un codon (tripleto de bases de ADN) en un genoma, cada base puede tomar 4 valores: A,T,C,G.
- una letra en un libro de Borges

#### Ejercicio 2

Una fuente de información binaria con memoria nula produce el símbolo  $s_0$  con probabilidad  $p_0$  y el símbolo  $s_1$  con probabilidad  $p_1 = 1 - p_0$

- Formular la entropía de la fuente como función de  $p_0$
- Graficar  $H(p_0)$
- Dar una interpretación de los puntos de la gráfica que considere interesantes

### Ejercicio 3

Para la siguiente fuente

$$S = [P(A) = 0.4; P(B) = 0.3; P(C) = 0.2; P(D) = 0.1]$$

se proponen 3 códigos posibles

- A = 00 ; B = 01 ; C = 11 ; D = 010
- A = 0 ; B = 01 ; C = 011; D = 111
- A = 1 ; B = 01 ; C = 001 ; D = 0001

- ¿Cuáles son instantáneos?
- ¿Cuáles son unívocamente decodificables?
- ¿Cuál ofrece mejor rendimiento ( $H/L$ )?
- ¿Alguno presenta *pérdida de información*?

### Ejercicio 4

¿Cuánto vale la entropía y la longitud de la codificación de cada símbolo para las fuentes de información de los siguientes casos?

- 2 símbolos equiprobables
- 4 símbolos equiprobables
- 6 símbolos equiprobables
- 8 símbolos equiprobables
- 10 símbolos equiprobables
- N símbolos equiprobables

### Ejercicio 5

Considere una señal de video en escala de grises que transmite imágenes a una resolución 640 x 480 pixels, de los cuales cada uno puede asumir 10 niveles diferentes de brillo. Supongamos que la tasa de transmisión es de 30 imágenes por segundo y que la relación señal a ruido es de 30 dB.

- Calcular la entropía de la fuente si todas las imágenes fueran equiprobables
- ¿Cuántos bits son necesarios para codificar cada imagen de manera óptima e instantánea?
- Calcular el ancho de banda mínimo requerido para soportar la transmisión de la señal resultante

### Ejercicio 6

Calcule la Capacidad de Volumen (cantidad de bits que entran simultáneamente) en cada uno de los siguientes medios físicos de transmisión no ideales, asumiendo que se los utiliza a su máxima Capacidad de Transmisión (es decir, sin pérdida de información):

- a.  $D = 100km$ ,  $V = 200000km/s$ ,  $SNR = 100dB$ ,  $B = 400Hz$
- b.  $D = 100km$ ,  $V = 200000km/s$ ,  $SNR = 10dB$ ,  $B = 400kHz$
- c.  $D = 100km$ ,  $V = 300000km/s$ ,  $SNR = 10dB$ ,  $B = 400kHz$
- d.  $D = 100m$ ,  $V = 300000km/s$ ,  $SNR = 10dB$ ,  $B = 400kHz$

### Ejercicio 7

Un satélite orbita la tierra tomando muestras meteorológicas. Se desea establecer un enlace entre dicho satélite y una base central en la superficie terrestre. Dicho medio de transmisión soporta una velocidad de transmisión de 100 Mbps. Si la información viaja a una velocidad de propagación de 300000 km/s, ¿Es posible que haya una distancia para la que el tiempo total de enviar 30Mb sea menor a 0.04 segundos?

### Ejercicio 8

Suponga que se instala un enlace punto a punto de 100 Mbps entre la Tierra y una base en la Luna. La distancia entre la Luna y la Tierra es de aproximadamente 385000 km, y la velocidad de propagación de los datos es la velocidad de la luz (300000 km/s).

- a. ¿Cuál es el RTT del enlace?
- b. ¿Cuántos bits entran simultáneamente en el canal?
- c. Una cámara en la base lunar toma fotografías de la Tierra y las guarda en formato digital en un disco. Suponga que el Control de Misión en la Tierra desea descargar la última imagen que es de 25 Mb. ¿Cuál es el tiempo mínimo que puede transcurrir entre el momento en que se inicia el pedido del dato y finaliza la recepción? (Asumir que el mensaje de pedido es de 2Kb)

## Ejercicios de Parcial

### Ejercicio 9

Una sonda espacial que orbita la tierra tomando imágenes climáticas, se conecta con una computadora terrestre por un enlace satelital que provee un ancho de banda útil de 3 kHz con una relación señal a ruido de 10 dB. La sonda envía datos de imágenes con una resolución de 10 Megapíxeles usando una codificación de 12 bits por píxel.

- a. ¿Cuál es el tiempo promedio de transmisión para cada imagen, asumiendo que todas las imágenes son equiprobables?
- b. ¿Por qué podría disminuir dicho tiempo, si se supiera que las probabilidades de las imágenes no son equiprobables?

### Ejercicio 10

Un robot helicóptero transmite la señal de su cámara de video sobre un enlace inalámbrico que tiene una relación señal a ruido del orden de los 30dB, con un ancho de banda útil de 50kHz. Modelando la cámara como una fuente de información se obtiene que su entropía es de 5Kb. Asumiendo que se desea transmitir sin pérdida de información:

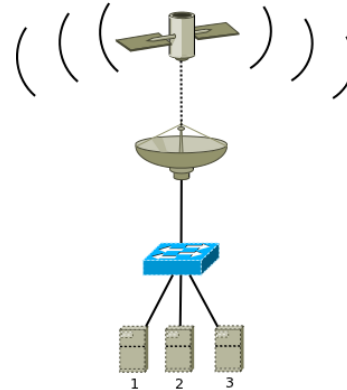
- ¿Hasta cuántas imágenes por segundo es posible enviar?
- Calcule el Delay promedio de una imagen enviada por el robot a 2km de distancia. ( $V_{prop} = 300000km/s$ )

### Ejercicio 11

En el esquema de la figura hay 3 servidores haciendo broadcasting de video a través de un satellite. Cada servidor envía video sin comprimir con una resolución de 4Mb por imagen y 25 imágenes por segundo. Cada servidor está conectado al switch que se conecta a un satellite mediante un enlace satelital. El enlace satelital tiene una relación señal ruido de 30dB.

- ¿Cuánto ancho de banda (Hz) será necesario en el enlace satelital para satisfacer el broadcasting de todos los servidores sin pérdida de información?
- Si se modelaran las señales de los servidores como fuentes de memoria nula y la entropía de cada fuente fuera como se indica en la tabla ¿Qué señal se podría comprimir más? Explique.

	1	2	3
Entropía	100	180	150



### Ejercicio 12

Un robot trepador sube escalando el monte Everest con una cámara. La señal de video de la cámara se transmite sobre un enlace inalámbrico que tiene una relación señal a ruido del orden de los 30dB, usando 50kHz del espectro. A su vez, se modela la señal de video como una fuente de información, definiendo cada símbolo como cada una de las imágenes posibles y asumiendo que son todas equiprobables.

- Si queremos enviar 26 imágenes por segundo ¿Cuál es el máximo valor de entropía que puede adoptar la fuente?
- ¿Cuál es la distancia para la cual el  $T_{tx}$  de una imagen representa el 50% del Delay? ( $V_{prop} = 300000km/s$ )

## Bibliografía

**Computer Networks: A systems approach. 5ta Edición.** *Peterson & Davie*. Capítulo 1: Foundation.

**Teoría de la información y codificación. 5ta Edición.** *Norman Abramson*. Capítulo 1: Introducción (secciones 1.1 a 1.5), Capítulo 2: La información y sus fuentes (secciones 2.1 a 2.4), Capítulo 3: Propiedades de los códigos (secciones 3.1 a 3.5), Capítulo 4: Codificación (secciones 4.1 a 4.3).

**Data and Computer communications. 5ta Edición.** *William Stallings*. Capítulo 2: Data Transmission.